

农艺与调制

杨淳婷, 张梦玥, 赵园园, 等. 低烟碱品种及栽培模式对烤烟化学成分及感官质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2022, 28(6). YANG Chunting, ZHANG Mengyue, ZHAO Yuanyuan, et al. Effects of low nicotine varieties and cultivation pattern on chemical components and sensory quality of flue-cured tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2022, 28(6). doi:10.16472/j.chinatobacco. 2022.034

低烟碱品种及栽培模式对烤烟化学成分及感官质量的影响

杨淳婷¹, 张梦玥¹, 赵园园¹, 周骏², 顿松阳³,

李洪亮³, 林智博³, 刘德水², 史宏志^{1*}

1 河南农业大学烟草学院/烟草农业减害研究中心, 郑州 450002;

2 上海烟草集团北京卷烟厂有限公司, 北京 100024;

3 河南省烟草公司许昌市公司襄城县分公司, 河南许昌 461700

摘 要:【目的】为研究低烟碱品种结合低烟碱栽培模式对烟碱的降低效果及其他烟叶化学成分和烟叶质量的影响。【方法】在河南省许昌市, 以常规品种中烟 100、低烟碱品种 ITB687 和超低烟碱品种 NC926 为材料, 设置当地常规栽培模式 (LCCP) 和低烟碱栽培模式 (LNCP) 进行栽培试验。【结果】(1) 不同品种在 LCCP 下农艺性状差异较小, 而 LNCP 模式对其生长后期影响较大, 叶片长宽比增加, 上部叶面积和单叶重显著下降。(2) 在 LCCP 下 3 个品种的生物碱含量差异极大, NC926 上部叶和中部叶调制后烟碱含量分别为 0.28%、0.21%。LNCP 显著降低烟叶烟碱和总生物碱含量, 但低烟碱品种在 LNCP 下烟碱降幅相对较小, 其中 NC926 上部叶调制后烟碱含量降低 38.03%, 中部叶无显著差异; 高烟碱品种采用 LNCP 降低幅度相对较大, 其中中烟 100 上部叶和中部叶调制后烟碱含量分别降低 44.11%、30.01%。(3) 在 LCCP 下不同品种同一部位烤后烟的还原糖、总糖、总氮含量均表现为中烟 100>ITB697>NC926, LNCP 下烟叶总氮含量降低, 上部叶还原糖、总糖含量增加, 但中部叶还原糖、总糖含量降低。(4) 在 LCCP 下不同品种中性香气成分含量以及经济性状无显著差异, LNCP 下烟叶中性香气成分总量减少, 香气质变差, 香气量、浓度、劲头和刺激性减小, 余味变淡, 同时烟叶经济性状变差。【结论】通过遗传育种途径可选择性大幅降低生物碱含量, 采用低烟碱栽培模式虽可使烟碱含量进一步降低, 但对烟叶质量和效益会产生显著负面影响。

关键词: 烤烟; 栽培模式; 低烟碱; 化学成分; 感官质量

烟碱是烟叶和烟气中重要的生理活性成分^[1]。1994 年 Benowitz 等提出把烟叶烟碱含量降低到使人成瘾的阈值以下可以有效减少吸烟者对烟草的依赖性^[2], 并针对低烟碱卷烟对吸烟者吸烟行为和成瘾性的影响等方面开展了大量研究^[3-5]。2015 年, 世界卫生组织 (WHO) 提出建议将烟草中烟碱含量降低至在技术上可以达到的水平^[6]。2018 年, 美国食品和药品管理局 (FDA) 初步制定了控制卷烟烟丝中的烟碱含量在 0.3、0.4 和 0.5 mg/g 水平的建议性标准, 这一含量标准远远低于目前栽培烟草烟叶中 18~36 mg/g 的烟碱含量。因此, 烟叶烟碱含量的降低潜力、低/超低烟碱烟叶生产技术和可行性等引起了国际烟草界的高度关注。

烟叶的烟碱含量主要受遗传、生态、农艺等措施的影响, 低、超低烟碱烟叶的生产途径主要包括常规育种、遗传工程和农艺调控等^[7-9]。通过分子手段抑制或敲除烟碱合成的关键基因可以有效降低烟碱合成, 使烟叶烟碱含量降至极低水平, 但鉴于转基因烟草应用的限制, 还难于在实际生产中应用^[10-12]。Legg 等^[13]曾于上世纪 60 年代利用自然变异育成了烟碱合成基因均为双隐性的低烟碱品系 LAB21, 其烟碱含量可低至 3.0 mg/g, 但农艺性状和烟叶化学成分与常规的正常烟碱含量烟叶相比发生一定的变化^[14-15], 且其烟碱含量水平距离提出的限定标准尚有较大差距。目前新的低烟碱变异材料不断被发现或创造, 基于这些材料

基金项目: 中国烟草总公司 2021 年揭榜挂帅项目“超低烟碱品种培育及“中南海”超低烟碱卷烟产品开发”(110202103013)

作者简介: 杨淳婷 (1999—), 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究, Email:ychunting98@163.com

通讯作者: 史宏志 (1963—), 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事烟草栽培生理研究, Email:shihongzhi88@163.com

收稿日期: 2022-03-17; 网络出版日期: 2022-07-22

选育的新品种也不断问世,其中美国北卡州立大学选育的 NC926、法国 Bergerac 种子公司选育的 ITB697 等烤烟品种备受关注。由于农艺措施如种植密度、施氮量、留叶数等与烟叶烟碱含量密切相关,探索低烟碱栽培模式对降低烟碱合成的潜力以及对烟叶品质的影响也十分重要。

为了全面认识现有低烟碱品种结合低烟碱栽培模式对降低烟叶烟碱含量的效果和对烟叶经济性状和品质的影响程度,评估通过农业措施生产超低烟碱烟叶的可行性,2019 年 CORESTA 启动了低烟碱烟叶生产技术共同课题,在全球范围内共同探索低烟碱品种和低烟碱栽培模式对烟叶生物碱含量和品种状况的互作影响。为此,作为该共同课题的参与者,本课题组于 2020 和 2021 年在河南许昌设置田间试验,以当地主栽品种中烟 100、法国低烟碱品种 ITB697 和美国超低烟碱品种 NC926 为材料,分别采用常规栽培模式和低烟碱栽培模式,研究了烟株农艺性状、烟叶生物碱及其他化学成分含量、烟叶经济性状和品质指标的变化,以期对烟叶烟碱含量控制指标的制订、低烟碱烟叶可用性评价和低烟碱生产技术可行性评估提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验设置在河南省许昌市襄城县山头店乡,选取土壤肥力中等且均匀,土壤疏松,地势平坦,结构良好,有良好灌溉条件的地块,土壤理化性质为:有机质 13.79 g/kg,速效磷 20.17 mg/kg,速效钾 122.03 mg/kg,碱解氮 86.58 mg/kg。试验烟株 5 月 20 日移栽。供试品种为当地主栽品种中烟 100、低烟碱品种 ITB697 (由法国 BSB 种子公司通过常规育种选育而成),和超低烟碱品种 NC926 (由美国北卡州立大学利用低烟碱突变材料选育而成)。

1.2 试验设计与方法

栽培模式由 CORESTA 共同课题组制订,共分两种:常规栽培模式 (LCCP),行株距 1.20 m×0.50 m,密度 16500 株/hm²,施氮量 76 kg/hm²,N:P₂O₅:K₂O=1:1:3,田间 50% 中心花开放时打顶;低烟碱栽培模式 (LNCP),行株距 1.1 m×0.43 m,密度 21000 株/hm²,施氮量减少 50%,不打顶。两种栽培模式单株留叶数均为 21 片,其他生产管理措施按照当地优质烤烟生产技术规范执行。试验采用随机区组设计,重复 3 次,小区面积约 100 m²,每个重复均选取一部分烟株为计产区,小区四周设独立的保护行。

鲜烟样 (杀青样):在移栽后 50 d、90 d,取各处理中、上部叶,待烘箱温度至 105℃ 时,将烟叶放入烘箱杀青 15 min 左右,然后 50℃ 烘干,经研磨后过 60 目筛用于生物碱含量测定。

烤后样:烟叶正常成熟采收,各处理选取中部叶 (第 8~14 叶位)、上部叶 (第 15~21 叶位),编竿后挂牌标记,采用三段式烘烤工艺烘烤。烤后烟按照 GB 2635—1992 进行分级,并挑选 B2F 和 C3F 样品,一部分样品于 50℃ 烘干、研磨,过 60 目筛,用于生物碱含量测定以及化学成分测定,另一部分样品去梗后切丝卷制成试验卷烟,用于感官质量评价。

1.3 测试项目和方法

1.3.1 农艺性状测定

在移栽后 50 d 和 90 d,各处理分别选择 5 株有代表性的烟株,测量其株高、茎围、节距、叶片数及最大叶长和叶宽。

1.3.2 鲜烟叶及烤后烟生物碱的测定

参照烟草行业标准 YC/T161—2002 采用气相色谱法测定生物碱。在碱性条件下,用甲基叔丁基醚 (MTBE) 提取 200 mg 样品的生物碱,以正十六烷为内标,通过气相色谱-氢火焰离子化检测器 (GC-FID) (Agilent7890A,美国 Agilent Technologies 公司) 定量检测烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱 4 种生物碱的含量。

1.3.3 烤后烟常规化学成分测定

采用连续流动分析仪 (AA3,德国 BRAN+LUEBBE 公司) 检测烟草叶片总氮、总糖和还原糖含量。总糖:参照 YC/T159—2002;还原糖:参照 YC/T216—2007;总氮:参照 YC/T161—2002。

1.3.4 香气成分

采用同时蒸馏萃取仪提取香气物质,并采用气质联用仪进行分析 (GC/MS:Agilent 7890A-5975C,Agilent Technologies, USA),采用内标法 (硝基苯) 进行测定。

1.3.5 感官质量评价

感官质量评价由国家烟草栽培生理生化研究基地和河南中烟工业有限责任公司等单位评吸专家按照河南中烟工业有限责任公司感官评价方法进行评吸,并对香气质、香气量、杂气、浓度、劲头、刺激性、余味 7 个单项指标进行打分。

1.3.6 烟叶经济性状调查

计产区烟叶单独上杆烘烤,然后统计各处理烤后烟叶产量,并根据烤烟 GB 2635—1992 对烤后烟叶进行分级,确定烤烟的均价、产值、中上等烟的比例。

单叶重用称重法测定。

1.3.7 数据处理与分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式对烟株农艺性状的影响

测定结果表明，烟碱含量不同的品种在常规栽培模式下农艺性状差异相对较小，但同一品种不同栽培

模式影响较大，且以成熟期烟株更为显著（表 1）。在烤烟成熟期，中烟 100、ITB697 和 NC926 在低烟碱栽培模式（LNCP）下，株高、节距以及上部叶长宽比值均较常规栽培模式（LCCP）显著增大，叶长、叶宽、茎围以及中部叶长宽比值较 LCCP 显著减小。由此说明，LNCP 对烟株生长、叶片形态及株型有显著影响，且对烟株生长后期影响大于前期，对上部叶的影响大于中部叶。

表 1 不同栽培模式对烟株农艺性状的影响
Tab.1 Effect of cultivation pattern on agronomic characters in flue-cured tobacco

时期 Period	农艺性状 Agronomic characters	中烟 100		ITB697		NC926	
		LCCP	LNCP	LCCP	LNCP	LCCP	LNCP
旺长期 Fast dowing period	有效叶数 Leaf number/片	17.00a	16.80a	16.00a	17.00a	17.40a	18.00a
	株高 Plant height/cm	60.42c	65.12b	59.64c	71.70a	59.52c	66.26b
	茎围 Stalk circumference/cm	8.82a	8.66a	8.00b	7.90b	8.08b	7.80b
	节距 Internode length/cm	4.28a	4.30a	3.98a	4.18a	4.04a	4.22a
	叶长 Leaf length/cm	53.04ab	53.84a	50.54b	51.90ab	53.98a	55.02a
	叶宽 Leaf width/cm	40.90a	37.08b	39.20a	36.90b	39.80a	37.60b
	叶长/叶宽 Diametrical ratio	1.30b	1.45a	1.26b	1.41a	1.36b	1.45a
成熟期 Maturation period	有效叶数 Leaf number/片	21.00a	21.00a	21.40a	21.00a	20.00a	20.00a
	株高 Plant height/cm	109.90c	125.78b	107.44c	131.20a	108.96c	127.10ab
	茎围 Stalk circumference/cm	9.88ab	9.04c	10.04a	9.55b	10.10a	9.12c
	节距 Internode length/cm	3.73c	4.11b	3.86bc	4.52a	3.62c	4.05b
	上部叶叶长 Upper leaf length/cm	66.10a	45.60b	64.72a	41.84c	65.66a	42.82c
	上部叶叶宽 Upper leaf width/cm	36.59a	21.51b	35.74a	20.03c	34.50a	20.53c
	上部叶叶长/叶宽 Upper diametrical ratio	1.80c	2.12a	1.81c	2.09a	1.90b	2.09a
	中部叶叶长 Middle leaf length/cm	73.78a	65.98b	77.68a	63.42c	75.61a	60.89d
	中部叶叶宽 Middle leaf width/cm	45.61a	44.22b	43.36b	39.01c	44.25b	38.90c
	中部叶叶长/叶宽 Middle diametrical ratio	1.62b	1.49c	1.79a	1.63b	1.71a	1.57b

注：同行数字后未标有相同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.2 栽培模式对不同品种烟叶生物碱含量的影响

2.2.1 栽培模式对鲜烟叶生物碱含量的影响

移栽后 50 d 和 90 d 分别对不同品种烟叶生物碱含量进行测定，由表 2 可知，3 个品种生物碱含量差异极大，特别是 NC926 烟叶烟碱含量达到极低水平。移栽后 50 d，在 LNCP 下，中烟 100、ITB697 的烟碱含量较 LCCP 分别降低 13.30%、11.74%，中烟 100、ITB697 总生物碱含量较 LCCP 分别降低 14.62%、

14.26%，NC926 在 LNCP 下烟碱、总生物碱含量与 LCCP 相比无显著差异，但显著低于中烟 100、ITB 697。移栽后 90 d，中烟 100、ITB697、NC926 在 LNCP 下的烟碱含量较 LCCP 模式分别降低 37.93%、35.05%、34.91%，总生物碱含量较 LCCP 分别降低 38.06%、36.62%、29.69%。表明，LNCP 模式能够进一步降低烟叶烟碱及总生物碱含量，但低烟碱品种在 LNCP 下降低的幅度总体相对较小。

表 2 不同栽培模式对鲜烟叶生物碱含量的影响
Tab. 2 Effect of cultivation pattern on content of alkaloids in fresh tobacco

时间 Time	品种 Variety	栽培模式 Agronomic practices	生物碱 Alkaloid/%				
			烟碱 Nicotine	降烟碱 Normicotine	假木贼碱 Anabasine	新烟草碱 Anatabine	总生物碱 Total alkaloid
50 d	中烟 100	LCCP	1.4989a	0.0353a	0.0103a	0.1002a	1.6447a
		LNCP	1.2996b	0.0328b	0.0073b	0.0646b	1.4043b
	ITB697	LCCP	0.5605c	0.0285c	0.0067c	0.0626b	0.6583c
		LNCP	0.4947d	0.0201d	0.0058d	0.0438c	0.5644d
	NC926	LCCP	0.0984e	-	0.0042e	0.0242d	0.1268e
		LNCP	0.0866e	-	0.0039f	0.0236d	0.1141e
90 d	中烟 100	LCCP	2.4160a	0.0988a	0.0227a	0.1267a	2.6642a
		LNCP	1.4996b	0.0507b	0.0125b	0.0874b	1.6502b
	ITB697	LCCP	1.2168c	0.0361c	0.0113c	0.0715c	1.3357c
		LNCP	0.7903d	0.0246d	0.0107cd	0.0510d	0.8766d
	NC926	LCCP	0.1667e	-	0.0100d	0.0284e	0.2051e
		LNCP	0.1085f	-	0.0081e	0.0276e	0.1442f

注：同列数字后未标有相同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，下同。“-”表示低于检测阈值（下同）。

2.2.2 不同栽培模式对烤后烟生物碱含量的影响

对不同栽培模式烤后烟生物碱含量测定结果分析，由表 3 可知，在常规栽培模式下不同品种烤后烟生物碱含量存在较大差异，在低烟碱栽培模式下同一品种的烟碱、总生物碱含量与 LCCP 相比均有降低。同一品种不同部位烤后的烟碱、总生物碱含量在 LCCP 表现为上部叶>中部叶，但 LNCP 下表现为中部叶>上部叶。上部叶中，中烟 100、ITB697、NC926 在 LNCP 下的烟碱含量较 LCCP 分别降低 44.11%、

43.50%、38.03%，总生物碱含量较 LCCP 分别降低 46.52%、43.15%、38.09%。中部叶中，中烟 100、ITB697 在 LNCP 下的烟碱含量较 LCCP 分别降低 30.01%、23.21%，总生物碱含量分别降低 30.49%、22.71%，而 NC926 在 LNCP 中部叶烟碱、总生物碱含量较 LCCP 变化不显著。因此，LNCP 模式能够降低烤后烟中、上部烟叶烟碱及总生物碱含量，且上部叶降低幅度大于中部叶，烟碱含量高的品种降低幅度大于低烟碱品种。

表 3 不同栽培模式对烤后烟生物碱含量的影响
Tab. 3 Effect of cultivation pattern on content of alkaloids in flue-cured tobacco

部位 Position	品种 Variety	栽培模式 Agronomic practices	生物碱(Alkaloid)/%				
			烟碱 Nicotine	降烟碱 Normicotine	假木贼碱 Anabasine	新烟草碱 Anatabine	总生物碱 Total alkaloid
上部叶 Upper leaf	中烟 100	LCCP	3.2700a	0.3834a	0.0203b	0.3287a	4.0024a
		LNCP	1.8275b	0.1759b	0.0100e	0.1272c	2.1406b
	ITB697	LCCP	1.7942b	0.0839c	0.0143d	0.2036b	2.0960b
		LNCP	1.0137c	0.0556d	0.0101e	0.1121d	1.1915c
	NC926	LCCP	0.2824d	-	0.0300a	0.0250e	0.3374d
		LNCP	0.1750e	-	0.0168c	0.0171e	0.2089e
中部叶 Middle leaf	中烟 100	LCCP	2.8704a	0.1937a	0.0187c	0.2533a	3.3361a
		LNCP	2.0089b	0.1278b	0.0145d	0.1678b	2.3190b
	ITB697	LCCP	1.5674c	0.0546c	0.0092e	0.1160c	1.7472c
		LNCP	1.2036d	0.0406d	0.0060f	0.1002d	1.3504d
	NC926	LCCP	0.2084e	-	0.0213a	0.0232e	0.2528e
		LNCP	0.1996e	-	0.0205b	0.0193f	0.2394e

2.3 不同栽培模式对烤后烟常规化学成分的影响

不同栽培模式烤后烟常规化学成分测定结果如表 4 所示。在同一栽培模式下不同品种烤后烟常规化学成分存在差异，同一部位烤后烟的还原糖、总糖、烟碱、总氮含量均表现为中烟 100>ITB697>NC926。在 LCCP 下烤后烟总糖、还原糖含量表现为中部叶>上部叶，而在 LNCP 模式下则相反。上部叶中，中烟 100、ITB697、NC926 在 LNCP 下还原糖、总糖含量以及氮碱比值、糖碱比值较 LCCP 均显著升高，烟碱、总氮

含量较 LCCP 显著降低。中部叶中，中烟 100、ITB697 在 LNCP 的还原糖、总糖、总氮、烟碱含量较 LCCP 均显著降低，糖碱比值较 LCCP 均显著升高，NC926 还原糖、总糖、总氮、氮碱比值、糖碱比值较 LCCP 显著降低。表明，LNCP 下烟碱含量降低，因此会使中烟 100、ITB697 的中、上部叶以及 NC926 的上部叶氮碱比值和糖碱比值升高，而 NC926 中部叶烟碱含量降幅小于还原糖和总氮的变化幅度，因此中部叶氮碱比、糖碱比值有所降低。

表 4 不同栽培模式对烤后烟常规化学成分的影响
Tab. 4 Effect of cultivation pattern on chemical composition of flue-cured tobacco

部位 Position	品种 Variety	栽培模式 Agronomic practices	还原糖 Reducing sugar /%	总糖 Total sugar /%	烟碱 Nicotine /%	总氮 Total nitrogen /%	氮碱比 Nitrogen-nicotine ratio	糖碱比 Reducing sugar-nicotine ratio
上部叶 Upper leaf	中烟 100	LCCP	17.76b	20.94b	3.27a	2.24a	0.69e	5.43f
		LNCP	19.38a	22.41a	1.83b	1.91c	1.04d	10.59d
	ITB697	LCCP	16.54c	19.70c	1.79b	2.08b	1.16d	9.24e
		LNCP	17.93b	21.37b	1.01c	1.84c	1.82c	17.75c
	NC926	LCCP	14.19e	17.00e	0.28d	1.78c	6.36b	50.68b
		LNCP	15.96d	18.30d	0.18e	1.55d	8.61a	88.67a
	中烟 100	LCCP	19.87a	24.64a	2.87a	2.05a	0.71e	6.92f
		LNCP	18.66b	21.82b	2.01b	1.80b	0.90de	9.28e
中部叶 Middle leaf	ITB697	LCCP	18.60b	21.90b	1.57c	1.73c	1.10cd	11.85d
		LNCP	16.71c	20.02c	1.20d	1.60d	1.33c	13.93c
	NC926	LCCP	15.49d	19.71c	0.21e	1.63d	7.76a	73.76a
		LNCP	14.28e	16.66d	0.20e	1.19e	5.95b	71.40b

2.4 不同栽培模式对烤后烟中部叶中性致香成分的影响

3 个品种在不同栽培模式下烤后烟中部叶中性致香成分结果表明，在 LCCP 下 3 个品种香气成分总量无显著差异，但在 LNCP 下香气成分总量较 LCCP 均显著减小（表 5）。与 LCCP 相比，中烟 100、ITB697、NC926 在 LNCP 下类胡萝卜素降解产物类、类西柏烷

类、叶绿素降解产物类、中性致香成分总量均显著降低，其中叶绿素降解产物类分别降低 18.51%、21.53%、31.97%，中性致香成分总量分别降低 16.20%、17.63%、27.16%。由此可知，低烟碱栽培模式能够减少中部叶中性致香成分含量，对烟叶香气成分的协调性有重要影响。

表 5 不同栽培模式对烤后烟中部叶中性致香成分的影响
Tab. 5 Effect of cultivation pattern on content of neutral aroma components in middle tobacco leaves

中性致香成分		中烟 100/(μg·g ⁻¹)		ITB697/(μg·g ⁻¹)		NC926/(μg·g ⁻¹)	
Neutral aroma components		LCCP	LNCP	LCCP	LNCP	LCCP	LNCP
类胡萝卜素降解产物类 Carotenoid degradation products	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	0.76	0.37	0.81	0.37	0.39	0.21
	3-羟基-β-二氢大马酮 3-OH-β-damascone	3.04	2.89	3.40	3.10	3.29	2.52
	氧化异佛尔酮 Sophorone oxide	1.34	1.25	1.51	1.51	1.52	1.16
	巨豆三烯酮 1 Megastigmatrienone1	1.99	1.47	1.53	1.56	1.82	1.48

		续表 5					
中性致香成分		中烟 100/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		ITB697/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		NC926/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
Neutral aroma components		LCCP	LNCP	LCCP	LNCP	LCCP	LNCP
	巨豆三烯酮 2	9.55	8.19	7.89	8.12	8.93	7.28
	Megastigmatrienone2						
	巨豆三烯酮 3	3.90	2.74	3.20	2.36	2.86	2.49
	Megastigmatrienone2						
	巨豆三烯酮 4	13.10	11.00	11.45	11.10	11.12	10.25
	Megastigmatrienone4						
	β -大马酮	11.66	10.04	12.53	12.92	11.56	10.63
	β -damascenone						
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.69	1.34	1.98	1.86	1.74	2.00
	6-Methyl-5-hepten-2-one						
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.66	0.88	1.03	1.07	0.98	1.30
	6-Methyl-5-Hepten-2-ol						
	香叶基丙	3.67	4.13	4.21	4.26	4.02	4.52
	Geranylacetone						
	法尼基丙酮	8.30	7.53	8.08	7.93	7.37	7.77
	Farensyl Acetone						
	芳樟醇	12.39	13.68	9.60	10.47	11.97	9.97
	Linalool						
	螺岩兰草酮	4.84	2.81	6.76	2.72	4.93	2.16
	Solavetivone						
	β -二氢大马酮	1.88	1.60	2.97	2.01	2.05	1.28
	β -damascone						
	小计	78.77a	69.92d	76.95ab	71.36cd	74.55bc	65.02e
	Subtotal						
	苯甲醛	3.61	3.36	4.25	5.30	3.96	5.17
	Benzaldehyde						
	苯甲醇	14.40	14.18	15.84	11.49	14.30	9.84
	Benzylalcohol						
苯丙氨酸类 3-Phenylpyruvic acid	苯乙醛	11.46	10.78	19.82	21.87	16.88	18.10
	Phenylacetaldehyde						
	苯乙醇	0.28	0.51	0.41	0.47	0.41	0.42
	Phenylethyl alcohol						
	小计	29.75c	28.83c	40.32a	39.13a	35.55b	33.53b
棕色化产物类 Bromization products	Subtotal						
	糠醛	19.93	19.63	21.38	20.20	17.79	17.03
	Furfural						
	糠醇	3.24	3.17	3.42	3.93	3.51	3.14
	Furfuryl alcohol						
	5-甲基糠醛	2.68	2.28	2.14	2.69	2.39	2.34
	5-methylfurfural						
	3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	1.14	1.01	1.38	1.26	1.16	1.33
	3,4-Dimethyl-2,5-Furandione						
	小计	26.99ab	26.09bc	28.32a	28.08a	24.85cd	23.84d
类西柏烷类 Cembraniod	Subtotal						
	茄酮	15.67d	14.51e	21.54a	19.75b	18.54c	15.01d
	Solanone						
叶绿素降解产物 Chlorophyll degradation products	新植二烯	547.56a	446.22c	529.01b	415.11d	531.56b	361.62e
	Neophytadiene						
总量 Total content		698.74a	585.57b	696.14a	573.43b	685.05a	499.02c

注：同行数字后未标有相同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.5 不同栽培模式对烤后烟叶感官质量评价的影响

3 个品种在不同栽培模式下烤后烟叶感官质量评价如表 6 所示。上部叶中，LCCP 下不同品种间香气

量和劲头有显著差异，均表现在中烟 100>ITB697>NC926；与 LCCP 相比，中烟 100、ITB697、NC926 在 LNCP 下香气质变差，香气量、浓度、劲头和刺激

性均显著减小，余味变淡，杂气无显著差异。中部叶中，LCCP 下不同品种间香气量、浓度、劲头和刺激性有显著差异，香气量、浓度和劲头的变化规律与上部叶一致，而刺激性以中烟 100 较大，NC926 较小；中烟 100、ITB697、NC926 在不同栽培模式下感官质

量变化规律与上部叶一致。以上结果表明，LNCP 对不同品种烟叶感官质量评价均有负面影响，主要表现在烟叶香气量减少，劲头下降，刺激性减小，且 LNCP 对不同品种感官质量评价影响不同。

表 6 不同栽培模式对烤后烟叶感官质量评价的影响
Tab. 6 Effect of cultivation pattern on sensory evaluation of flue-cured tobacco

部位 Position	品种 Variety	栽培模式 Agronomic practices	香气质 Aroma quality	香气量 Aroma quantity	浓度 Concentration	杂气 Undesirable odor	劲头 Strength	刺激性 Irritation	余味 After taste
上部叶 Upper leaf	中烟 100	LCCP	6.2b	6.5a	6.5a	6.1a	6.2a	6.1b	6.3a
		LNCP	6.0c	6.0c	6.0c	6.0a	5.0c	6.5a	6.0b
	ITB697	LCCP	6.3a	6.2b	6.5a	6.2a	5.8b	6.2b	6.3a
		LNCP	6.0c	5.8d	6.1c	6.0a	5.0c	6.5a	6.0b
	NC926	LCCP	6.3a	6.0c	6.3b	6.2a	4.3d	6.2b	6.3a
		LNCP	6.2b	5.3e	6.1c	6.1a	4.0e	6.4a	6.0b
中部叶 Middle leaf	中烟 100	LCCP	6.3ab	6.3a	6.5a	6.2a	5.8a	6.1d	6.2a
		LNCP	6.0c	5.7cd	6.2d	6.0a	5.3b	6.3c	5.8b
	ITB697	LCCP	6.5a	6.0b	6.4b	6.0a	5.3b	6.3c	6.2a
		LNCP	6.2bc	5.6d	6.2d	6.0a	4.8c	6.6b	5.9b
	NC926	LCCP	6.3ab	5.8c	6.3c	6.1a	4.2d	6.6b	6.2a
		LNCP	6.0c	5.2e	6.1e	6.0a	4.0e	7.0a	5.9b

注：同列数字后未标有相同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，下同。

2.6 不同栽培模式对烤后烟叶经济性状的影响

对不同栽培模式下烟叶经济性状分析表明，常规栽培模式下常规品种与低烟碱品种单叶重、产量、均价和产值差异相对较小，而同一品种不同栽培模式对单叶重、均价和产量影响较大（表 7）。中烟 100 在 LNCP 中单叶重、均价、产量、产值较 LCCP 模式分别减少 25.80%、4.30%、5.58%、9.64%，ITB697 在

LNCP 中单叶重、均价、产量、产值较 LCCP 模式分别减少 30.62%、7.21%、11.71%、18.08%，NC926 在 LNCP 中单叶重、均价、产量、产值较 LCCP 模式分别下降 38.52%、10.00%、21.71%、29.55%。LNCP 下低烟碱品种以及超低烟碱品种经济性状降低幅度较大，LNCP 对低烟碱品种以及超低烟碱品种经济性状的影响大于高烟碱品种。

表 7 不同栽培模式对烤后烟叶经济性状的影响
Tab.7 Effect of cultivation pattern on economic characteristics of tobacco leaf

品种 Variety	栽培模式 Agronomic practices	单叶重 Weight per leaf/g	均价 Average price/ (元·kg ⁻¹)	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	产值 Output value/ (元·hm ⁻²)	中上等烟比例 Ratio of mid-high grade leaves/%
中烟 100	LCCP	11.63a	24.17a	3454.29ab	83479.58ab	76.08a
	LNCP	8.63b	23.13b	3261.58c	75435.36c	69.58b
ITB697	LCCP	11.92a	24.42a	3540.81a	86478.29a	78.28a
	LNCP	8.27b	22.66b	3126.06d	70842.78d	63.83c
NC926	LCCP	11.50a	24.10a	3414.51b	82287.12bc	76.14a
	LNCP	7.07c	21.69c	2673.28e	57970.93e	62.06c

3 讨论

从不同烤烟品种烟叶生物碱含量测定结果可以看出，通过遗传育种降低烟碱含量具有较大的潜力，采用低烟碱栽培模式可以进一步降低烟叶烟碱含量，但降低幅度相对较小，且会对烟叶生长发育、叶片形态、

物质积累产生显著影响。低烟碱栽培模式增加了植烟密度，影响了植物光合速率、呼吸强度、叶片气孔导度以及田间通风透光条件，王一凡等^[16]研究指出种植密度对株高、节距、叶长和叶宽的影响最大，因此低烟碱栽培模式对烟株生长后期农艺性状的影响较大，改变了烟叶形态以及株型，这与危月辉等^[17]的研究结

果较为一致。此外,在常规栽培模式下,不同品种间烤后烟叶经济性性状差异较小,而在低烟碱栽培模式下同一品种烟叶均价、产值、中上等烟比例较常规栽培模式均有降低。

在低烟碱栽培模式中,烟叶烟碱含量较常规栽培模式有所降低,NC926 烟碱含量降低至较低水平。这与低烟碱栽培模式施氮量减少、植烟密度增加并且不打顶有极大的关系,烟株在打顶后内源生长素的合成受阻,烟碱在叶片中积累,烟碱含量急剧上升,因此低烟碱栽培模式中不打顶的措施能够有效降低烟碱含量,同时李鸿勋等^[18]研究认为烟叶的烟碱含量均随着施氮量的增加而明显升高,上部烟叶受施氮量和打顶影响较大,中部烟叶影响相对小些。并且增大植烟密度,田间通风透光条件变差,不利于烟碱的合成和积累,尤其是烟株个体吸收营养变少,根系减小,使根部烟碱的合成效率降低,因而烟碱含量也会随密度的增加而减少^[19]。此外,ITB697 和 NC926 分别是低烟碱品种和超低烟碱品种,其遗传因素会影响其烟碱合成和积累。

烟叶化学成分是烟叶内在品质的基础,糖含量会影响烟叶吃味,烟碱含量与烟气劲头有关。有研究表明不同植烟密度和施氮量对烟叶质量影响较大,在一定范围内,总氮含量与密度呈负相关,与施氮量呈正相关;总糖、还原糖与密度呈正相关,与施氮量呈负相关。但本研究 LNCP 中部叶总糖、还原糖含量变化规律与上述研究结果不一致,可能是由于烟株未打顶,生殖器官营养消耗过剩,不利于干物质积累,同时不打顶的烟株具有旺盛的顶端优势,进而严重影响烤烟体内光合产物在各器官中的分配,对其它部位的生长形成竞争关系,最终造成中部叶总糖、还原糖含量显著降低。

香气是反映烟叶质量的重要品质因素,是评定烟叶及其制品品质的重要指标,中性挥发性香气成分对烟叶香气品质有重要贡献。莫静静等^[20]研究发现,不打顶的烟株较现蕾和初花打顶的烟株中性致香成分降低,这与本试验结果较为一致。烟叶感官质量评价评分、与中性香气物质含量和烤烟化学成分含量相关,烟碱含量降低会影响烟叶劲头和香气量;此外,中性致香成分分类胡萝卜素降解物类、棕色化产物类含量的变化会对香气质、香气量产生影响,从而造成烟叶感官质量评分下降。低烟碱栽培模式中由于施氮量减少以及烟株未打顶,影响烟株正常生长以及烟株营养物质的积累与分配,上部叶开片较差,烟叶叶片变薄,单叶重、产量降低,虽然密度有所增加,但不能弥补

单叶重降低对产量造成的影响。本研究对全面认识现有低烟碱品种结合低烟碱栽培模式对降低烟叶烟碱含量的效果和对烟叶经济性性状和品质的影响程度,以及评估通过农业措施生产超低烟碱烟叶的可行性具有重要意义。

4 结论

低烟碱栽培模式能够大幅降低烤烟的烟碱含量,并且低烟碱或超低烟碱品种采用低烟碱栽培模式烟碱含量进一步降低,但低烟碱或超低烟碱品种烟碱含量降低幅度小于高烟碱品种。低烟碱栽培模式在降低烟叶烟碱含量的同时,伴随着烟叶主要化学成分改变,中性香气成分总量减少,劲头下降,刺激性减小,感官质量评分降低,且烤后烟经济性性状降低,会对烟叶产生负面影响。因此,低/超低烟碱烟叶生产应立足于深入挖掘遗传改良潜力,农艺栽培措施可在一定程度予以配套和辅助。

参考文献

- [1] 史宏志,张建勋.烟草生物碱[M].北京:中国农业出版社,2004. SHI Hongzhi, ZHANG Jianxun. Tobacco alkaloids[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [2] BENOWITZ NL, HENNINGFIELD JE. Establishing a nicotine threshold for addiction. The implications for tobacco regulation[J]. NEng J Med, 1994, 331(2):123-125.
- [3] BENOWITZ NL, JACOB PIII, HERRERA B. Nicotine intake and dose response when smoking reduced-nicotine content cigarettes[J]. Clin Pharmacol Ther, 2006, 80(6):703-14.
- [4] BENOWITZ NL, KATHERINE M Dains, SHARON M Hall, et al. Smoking behavior and exposure to tobacco toxicants during 6 months of smoking progressively reduced nicotine content cigarettes[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2012, 21(5):761-769.
- [5] HENNINGFIELD JE, SLADE J. Tobacco-dependence medications: public health and regulatory issues[J]. Food and Drug Law Journal, 1998, 53 (Suppl.):75-114.
- [6] World Health Organization. Advisory note: Global nicotine reduction strategy. 2015; WHO study group on tobacco product regulation. Geneva: WHO Press.
- [7] 史宏志,杨惠娟,王俊,等.低/超低烟碱含量烟叶生产途径及对烟叶化学成分和质量的影响[J].中国烟草学报,2018,24(5):102-111. SHI Hongzhi, YANG Huijuan, WANG Jun, et al. Production route of low / ultra low nicotine tobacco and its effect on chemical composition and quality of the same[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(5): 102-111.
- [8] 任梦娟,史宏志,顿松阳,等.基于烟茄嫁接的低烟碱烟草烟叶化学成分变化[J].中国烟草学报,2018,24(6):42-48. REN Mengjuan, SHI Hongzhi, DUN Songyang, et al. Changes in chemical composition in leaves of low-nicotine tobacco resulted from grafting of tobacco with eggplant[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(6):42-48.
- [9] 任梦娟,史宏志,杨明坤,等.基于烟茄嫁接的超低烟碱烟叶的感官质量和烟气特性[J].中国烟草学报,2020,26(1):23-29. REN Mengjuan, SHI Hongzhi, YANG Mingkun, et al. Sensory quality and cigarette smoke characteristics of ultra-low nicotine

- tobacco leaves produced by tobacco and eggplant grafting[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(1):23-29.
- [10] Vector Tobacco Ltd. Application for determination of nonregulated status for Vector 21-41 reduced nicotine tobacco[J]. Petition Number:01-121-01p. 2001.
- [11] LEWIS RS, JACK AM, MORRIS JW, et al. RNAi-induced suppression of nicotine demethylase activity reduces levels of a key carcinogen in cured tobacco leaves[J]. *J Plant Biotech*, 2008, 6(4):346-354.
- [12] LEWIS RS, LOPEZ HO, BOWEN SW, et al. Transgenic and mutation based suppression of a Berberine Bridge Enzyme-Like (BBL) gene family reduces alkaloid content in field-grown tobacco[J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(2):e0117273.
- [13] LEGG PD, COLLINS GB. Inheritance of percent total alkaloids in *Nicotiana tabacum* L. II. Genetic effects of two loci in Burley 21 x LA Burley 21 populations[J]. *Can J Genet Cytol*, 1971, 13:287-291.
- [14] LEETE E. Biosynthesis and metabolism of the tobacco alkaloids, in recent advances in the chemical composition of tobacco and tobacco smoke[J]. *Proc. Am. Chem. Soc. Symp.* (Ed. J. L. McKenzie), 1977, Pierce, Ashokie, N. C., pp. 365-388.
- [15] MILLER RD, COLLINS GB, DAVIS DL. Effects of recessive alleles for low alkaloid content on chemical and agronomic characteristics of burley tobacco[J]. *Crop Science*, 1982, 22(3):499-503.
- [16] 王一凡. 种植密度、施氮量和留叶数对驻马店豫烟 6 号产量和质量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- WANG Yifan. Effects of planting density, nitrogen application rate and leaf number on the yield and quality of flue-cured tobacco in zhumadian [D]. Henan Agricultural University, 2017.
- [17] 危月辉, 王红丽, 张广东, 等. 不同栽培模式对烟草植株长势及产质量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(11):137-139.
- WEI Yuehui, WANG Hongli, ZHANG Guangdong, et al. Effects of different cultivation patterns on growth and yield quality of tobacco plants[J]. *JAAAS*, 2015, 43(11):137-139.
- [18] 李洪勋. 不同施氮量和密度对烤烟产量和质量的影响[J]. *吉林: 东北农业科学*, 2008(3):22-26.
- LI Hongxun. Effect of nitrogen application and density on yields and quality of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2008(3):22-26.
- [19] 李海平, 朱列书, 黄魏魏, 等. 种植密度对烟田环境、烤烟农艺性状及产量质量的影响研究进展[J]. *作物研究*, 2008, 22(S1):489-490.
- LI Haiping, ZHU Lieshu, HUANG Weiwei, et al. Planting density to tobacco field environment Agronomic traits of flue-cured tobacco and research progress on the impact of yield quality[J]. *Crop Journal*, 2008, 22(S1):489-490.
- [20] 莫静静. 打顶时期对烤烟新陈代谢及产质量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- MO Jingjing. Effects of topping stages on the metabolism, yield and quality of flue-cured tobacco [D]. Henan Agricultural University, 2009.

Effects of low nicotine varieties and cultivation pattern on chemical components and sensory quality of flue-cured tobacco

YANG Chunting¹, ZHANG Mengyue¹, ZHAO Yuanyuan¹, ZHOU Jun², DUN Songyang³, LI Hongliang³,
LIN Zhibo³, LIU Deshui², SHI Hongzhi^{1*}

1 College of Tobacco Science / Research Center for Tobacco Harm Reduction, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2 Beijing Cigarette Factory, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Beijing 100024, China;

3 Xiangcheng County Tobacco Company, Xuchang 461700, China

Abstract: [Objective] This paper aims to study the effects of low nicotine varieties and low nicotine cultivation pattern on chemical composition and sensory quality of flue-cured tobacco. [Methods] Culture tests were conducted using conventional variety Zhongyan 100, low nicotine variety ITB687 and ultra-low nicotine variety NC926 as materials under local conventional cultivation pattern (LCCP) and low nicotine cultivation pattern (LNCP) in Xuchang of Henan Province. [Results] (1) The difference in agronomic traits of different varieties was insignificant under LCCP, but the effect of LNCP on their later growth period was significant. (2) The alkaloid contents of the three varieties varied greatly under LCCP. The nicotine contents of the upper and middle leaves of NC926 were 0.28% and 0.21%, respectively. The contents of nicotine and total alkaloid in tobacco leaves decreased significantly under LNCP, but the degree of nicotine decrease in low-nicotine tobacco leaves was relatively small, in which the upper leaves of NC926 decreased by 38.03%, while the middle leaves showed no significant difference, the decrement of nicotine in high-nicotine leaves was relatively large under LNCP, the upper and middle leaves of Zhongyan 100 decreased by 44.11% and 30.01%, respectively. (3) The contents of reducing sugar, total sugar and total nitrogen in flue-cured tobacco leaves of different varieties at the same position can be ranked as Zhongyan 100>ITB697>NC926 under LNCP, which could decrease the content of total nitrogen and increase the contents of reducing sugar and total sugar in upper leaves; however, the contents of reducing sugar and total sugar in the middle leaves decreased. (4) There was no significant difference in the content of neutral aroma components and economic characters among different varieties under LCCP. Under LNCP, the total amount of neutral aroma components decreased, the sensory quality of aroma became worse, the quantity of aroma, concentration, impact and irritancy decreased, the excitability became better, the aftertaste became lighter and the economic characters of tobacco leaf became worse. [Conclusion] The alkaloid content can be reduced selectively by genetic breeding, and the nicotine content can be further reduced by low nicotine cultivation pattern, but it will have significant negative effects on the quality and benefit of tobacco leaves.

Keywords: flue-cured tobacco; cultivation pattern; low-nicotine; chemical component; sensory quality

*Corresponding author. Email: shihongzhi88@163.com